

Untersuchungen zur Mortalität von *Empetrum nigrum* (L.) und *Calluna vulgaris* (L.) Hull in Küstenheiden auf der Insel Sylt

Studies on the mortality of *Empetrum nigrum* (L.) and *Calluna vulgaris* (L.) Hull in coastal heathlands of the island Sylt

Ramona Isabel Ressel

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde der Einfluss abiotischer und biotischer Faktoren auf die Mortalität von *Empetrum nigrum* und *Calluna vulgaris* in Küstenheiden auf Sylt untersucht, da nach langen Trockenphasen vermehrt Schäden der Zwergsträucher beobachtet wurden. Mittels Vegetationsaufnahmen wurde überprüft, ob diese Mortalität einen Einfluss auf das Artengefüge der Braundünen hat. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass sich die Vegetation der Küstenheiden in Folge des Klimawandels durch Trockenschäden der dominierenden Ericaceen deutlich verändern könnte. Ob die Mortalität langfristig Pionierarten fördert oder invasiven Neophyten Ausbreitungspotential bietet, kann erst ein kontinuierliches Monitoring zeigen.

Calluna vulgaris, *Campylopus introflexus*, Dünenvegetation, *Empetrum nigrum*, Klimawandel, Neophyten, Sylt

Abstract

In this study, the influence of abiotic and biotic factors on the mortality of *Empetrum nigrum* and *Calluna vulgaris* in coastal heaths on Sylt was investigated, as increased damage to the dwarf shrubs was observed after long dry periods. Vegetation records were used to explore whether this mortality has an influence on the species composition of the brown dunes. The results indicate that the vegetation of the coastal heaths could change significantly as a result of climate change due to drought damage of the dominant Ericaceae. Only continuous monitoring can show whether mortality promotes pioneer species in the long term or offers potential for invasive neophytes to spread.

Calluna vulgaris, *Campylopus introflexus*, dune vegetation, *Empetrum nigrum*, climate change, neophytes, Sylt

doi: 10.23766/NiPF.202501.03

Einleitung

Küstenheiden (*Empetrum nigrum*) bilden einen wichtigen Verband der Heiden in Europa. Die dominierenden Arten sind zwei Zwergsträucher, die Krähenbeere *Empetrum nigrum* (L.) und die Besenheide *Calluna vulgaris* (L.) Hull, die nachfolgend als *E. nigrum* und *C. vulgaris* bezeichnet werden. Der Klimawandel als einer der größten Treiber des globalen Biodiversitätsverlusts und -wandels (Sala et al. 2000) beeinflusst den Lebensraum zunehmend negativ. Für Deutschland ist u. a. eine Abnahme der Sommerniederschläge und ein Anstieg in der Häufigkeit und Intensität von Hitze- oder Trockenperioden zu erwarten (IPCC 2022; UBA 2006). Da sandige Böden ein geringes Wasserspeichervermögen haben (Li et al., 2021), ist die Vegetation auf Dünen besonders von solchen Ereignissen betroffen. Die ökosystemischen Auswirkungen der klimatischen Veränderungen auf Küstenheiden sind stark davon abhängig, wie die dominierenden Zwergsträucher auf Trockenstress reagieren.

In den vergangenen Jahren häuften sich die Dürreereignisse und es kam seit 2018 mehrere Jahre in Folge vor allem im Sommer zu extremer Trockenheit und Temperaturrekorden (Bathiany et al.

2021; Marx 2023). In diesen Jahren wurden vermehrt Trockenschäden bei *E. nigrum* und *C. vulgaris* beobachtet, die teilweise in der Mortalität der Pflanzen resultierten (Hein et al. 2021; Schellenberg 2022). Auch in den Küstenheidegebieten der Insel Sylt wirkte sich die Trockenheit sichtbar auf die Zwergsträucher aus, was besonders ausgeprägt auf südexponierten Dünenhängen wahrgenommen wurde (Koch 2018). In dieser Arbeit wird deshalb untersucht, von welchen abiotischen und biotischen Faktoren die Mortalität von *E. nigrum* und *C. vulgaris* in Küstenheiden auf Sylt abhängt, und diskutiert, ob diese mit den Dürreereignissen in Zusammenhang stehen. Zudem wird ermittelt, welche Auswirkungen die Mortalität von *E. nigrum* und *C. vulgaris* auf das Artengefüge hat. Das Absterben der für Braundünen typischen Zwergsträucher könnte eine verjüngende Wirkung auf die Dünensukzession haben und Weiß- und Graudünenpflanzen fördern, jedoch ebenfalls invasiven Neobiota wie dem Kaktusmoos *Campylopus introflexus* neuen Raum zur Ausbreitung bieten.



Somit werden folgende Hypothesen in dieser Arbeit untersucht:

1. Die Mortalität von *E. nigrum* und *C. vulgaris* in Küstenheiden ist auf südexponierten Dünenhängen größer als auf nordexponierten Dünenhängen.
2. Die Mortalität von *E. nigrum* und *C. vulgaris* hat einen positiven Einfluss auf die Anzahl der Weiß- und Graudünenarten und führt zu einer Veränderung des Artengefüges.

Methodik

Untersuchungsdesign

Verteilt über die Dünengebiete der Nordseeinsel Sylt wurden 15 Dünen ausgewählt und jeweils der nord- und südexponierte Hang untersucht. Das Untersuchungsdesign umfasste die Aufnahme von drei jeweils 25 m² großen Flächen pro Nord- bzw. Südhang, die auf der Längsseite des Hangs mittig gelegen als Transekt von oben nach unten angeordnet waren. Insgesamt wurden somit 90 Aufnahmen untersucht. In den Aufnahmeflächen wurden abiotische (Exposition, Inklination) und biotische (max. Höhe der Zwergstraucharten) Faktoren erhoben, um ihren Einfluss auf die Mortalität von *E. nigrum* und *C. vulgaris* zu ermitteln.

Vegetationsaufnahmen

In jeder Aufnahmefläche wurden Vegetationsaufnahmen mit Deckungsgradschätzungen durchgeführt. Des Weiteren wurden für *E. nigrum* und *C. vulgaris* gesondert die prozentualen Deckungsgrade der lebenden und abgestorbenen Pflanzenanteile erhoben und daraus die Mortalitätsrate berechnet, indem der abgestorbene Anteil durch die Gesamtdeckung (lebend (%) + abgestorben (%)) dividiert wurde. Ausführlichere Informationen zur Methodik und detaillierte Vegetationsaufnahmen sind in Ressel (2024) zu finden.

Statistische Datenanalyse

Der Einfluss von abiotischen (Exposition, Inklination) und biotischen (max. Höhe) Faktoren sowie ihre Interaktionen auf die Mortalitätsraten von *E. nigrum* und *C. vulgaris* wurden mit linearen gemischten Modellen (LMMs) getestet (Hypothese 1). Die Modellauswahl wurde mit dem „Likelihood-Ratio-Test“ (LRT) durchgeführt. Der Effekt der Exposition, der lebend-Deckung und Mortalitätsraten von *E. nigrum* und *C. vulgaris* auf die Artenzahl der Weiß- und Graudünenpflanzen wurde mit generalisierten linearen gemischten Modellen (GLMMs) unter Verwendung einer Poisson-Verteilung und einer log-link Funktion untersucht (Hypothese 2). Alle statistischen Analysen wurden in der R-Version 4.3.1 ausgeführt.

Tabelle 1: Charakterisierung der Vegetation mit Mittelwerten (M) und Standardabweichungen (SD) für alle Vegetationsaufnahmen sowie differenziert für Nord- und Südhänge.

	Gesamt		Exp. Nord		Exp. Süd	
	M	SD	M	SD	M	SD
Lebende Vegetation (%)	85,61	+/-10,97	93,22	+/-3,97	78,00	+/-10,46
Offene Bodenstellen (%)	6,79	+/-9,94	0,62	+/-1,08	12,96	+/-10,97
Gefäßpflanzen (%)	72,00	+/-12,28	79,89	+/-7,78	64,11	+/-10,82
Kryptogame* (%)	39,45	+/-24,90	55,89	+/-20,82	23,01	+/-16,36
<i>Campylopus introflexus</i> (%)	9,18	+/-16,05	0,89	+/-2,21	17,48	+/-19,30
Artenzahl	8,42	+/-3,79	6,58	+/-2,99	10,20	+/-3,61
Weiß- & Graudünenartenzahl	4,29	+/-2,69	2,73	+/-1,74	5,84	+/-2,56
<i>Empetrum nigrum</i>						
lebend (%)	52,54	+/-22,79	63,78	+/-15,06	41,30	+/-23,64
abgestorben (%)	10,03	+/-8,25	7,67	+/-6,16	12,40	+/-9,33
Mortalitätsrate	0,16	+/-0,14	0,11	+/-0,09	0,21	+/-0,15
max. Höhe (cm)	30,92	+/-6,34	33,24	+/-5,65	28,60	+/-6,15
<i>Calluna vulgaris</i>						
lebend (%)	18,93	+/-20,16	20,53	+/-19,99	17,33	+/-20,22
abgestorben (%)	5,98	+/-8,14	4,66	+/-5,38	7,40	+/-10,11
Mortalitätsrate	0,12	+/-0,12	0,10	+/-0,09	0,14	+/-0,14
max. Höhe (cm)	33,26	+/-9,75	35,43	+/-7,99	30,95	+/-10,86
abgestorben gesamt (%)	14,16	+/-8,75	10,98	+/-7,61	17,33	+/-8,66
Mortalitätsrate gesamt	0,18	+/-0,13	0,11	+/-0,08	0,24	+/-0,14

* Die Kryptogamen beinhalten die Deckung aller Moose und Flechten abgesehen von *Campylopus introflexus*.



Tabelle 2: Modellauswahl des Likelihood-Ratio-Tests für die Mortalitätsraten von *E. nigrum* und *C. vulgaris*.

	<i>Empetrum nigrum</i>		<i>Calluna vulgaris</i>	
	LRT	p-Wert	LRT	p-Wert
Exposition (E)	15,22	< 0,001	5,00	0,025
Inklination (I)	0,01	0,932	1,45	0,228
max. Höhe (H)	0,31	0,576	6,22	0,013
E : I	3,33	0,068	1,34	0,248
E : H	0,68	0,411	1,14	0,286
I : H	0,29	0,592	1,01	0,315

Ergebnisse

Effekte abiotischer und biotischer Faktoren auf Zwergstrauch-Mortalitätsraten

Die Mortalitätsrate von *E. nigrum* wird signifikant von der Exposition (LRT = 15,22; $p < 0,001$) und marginal signifikant von der Interaktion der Exposition und Inklination (LRT = 3,33; $p = 0,068$) beeinflusst (Tabelle 2). Wie in der Charakterisierung der Vegetation zu sehen ist, übersteigt die mittlere Mortalitätsrate von *E. nigrum* auf Südhängen (Mittelwert: 0,21) die mittlere Mortalitätsrate auf Nordhängen (Mittelwert: 0,11) um fast das Doppelte (Tabelle 1; Abbildung 1 a). In mehreren südexponierten Untersuchungsflächen ist über die Hälfte des *E. nigrum*-Bestandes abgestorben, sodass eine Mortalitätsrate von bis zu 0,67 bzw. 67 % erreicht wird. Die Mortalitätsrate von *E. nigrum* erhöht sich auf Südhängen mit steigender Inklination, während auf Nordhängen kein Zusammenhang festgestellt werden kann (Abbildung 1 b).

Die Mortalitätsrate von *C. vulgaris* wird signifikant von der Exposition (LRT = 5,00; $p = 0,025$) und der max. Höhe (LRT = 6,22; $p = 0,013$) beeinflusst (Tabelle 2). Auf Südhängen liegt die mittlere Mortalitätsrate (Mittelwert: 0,14) höher als auf Nordhängen (Mittelwert: 0,10) (Tabelle 1; Abbildung 1 c). Unabhängig von der Exposition steigt die Mortalitätsrate von *C. vulgaris* mit steigender max. Höhe an (Abbildung 1 d). Sie befindet sich dabei auf Südhängen jedoch auf einem höheren Niveau, auf denen sowohl jüngere als auch ältere Bestände von *C. vulgaris* eine höhere Mortalitätsrate aufweisen. Die maximale Mortalitätsrate von *C. vulgaris* in den Untersuchungsflächen beträgt 0,50.

Effekte der Exposition und Zwergstrauchdeckung auf das Pflanzenartengefüge

Die Artenzahl der Weiß- und Graudünenpflanzen auf Südhängen (Mittelwert: 5,84) unterscheidet sich signifikant ($z = 6,97$; $p < 0,001$) von der auf Nordhängen (Mittelwert: 2,73) und ist auf diesen im Mittel mehr als doppelt so hoch (Tabelle 1; Abbildung 2 a). Mit steigender lebend-Deckung von *E. nigrum* und *C. vulgaris* auf Südhängen nimmt die Artenzahl der Weiß- und Graudünenpflanzen signifikant ab ($z = -4,094$; $p < 0,001$) (Abbildung 2 b). Die Mortalitätsraten von *E. nigrum* und *C. vulgaris* haben auf Südhängen keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die Weiß- und Graudünenartenzahl (Abbildung 2 c, d). Bei der Mortalitätsrate von *E. nigrum* deutet sich jedoch ein positiver Trend an.

Auch das invasive Moos *Campylopus introflexus* ist auf südexponierten Dünenhängen signifikant häufiger (Mittelwert: 17,5 %; $t = 10,15$; $p < 0,001$) und weist dort im Mittel einen 19fach höheren Deckungswert als auf Nordhängen auf (Mittelwert: 0,89 %) (Tabelle 1). Auf den Untersuchungsflächen der Südhänge erreicht *Campylopus introflexus* eine Stetigkeit von 91 % mit Deckungen von bis zu 80 %, während das Moos auf Nordhängen nur auf 20 % der Flächen vorkam und dort eine maximale Deckung von 10 % erreichte.

Diskussion

Einfluss abiotischer und biotischer Faktoren auf die Zwergstrauch-Mortalität in Küstenheiden

Der signifikante Einfluss der Exposition auf die Mortalität von *E. nigrum* und *C. vulgaris* kann auf die höhere Sonneneinstrahlung auf südexponierten Hängen zurückgeführt werden, die bereits in vielen Studien festgestellt wurde (Bennie et al., 2008; Fan et al., 2020; Geroy et al., 2011). Die Intensität der Sonneneinstrahlung beeinflusst die mikroklimatischen Bedingungen und damit indirekt auch die Vegetation. So kann auf Südhängen tagsüber eine erhöhte Oberflächen- und Bodentemperatur festgestellt werden, die eine erhöhte Evapotranspiration und dadurch verringerte Bodenfeuchtigkeit zur Folge hat (Gerlach et al. 1994; Geroy et al. 2011). Auf Nordhängen ist das Mikroklima hingegen kühler, feuchter und ausgeglichener (Fan et al. 2020). Die Exposition beeinflusst über komplexe Wechselwirkungen abiotischer und biotischer Faktoren auch die Bodenentwicklung, sodass auf Nordhängen meist nährstoffreichere Böden und tiefere Oberbodenschichten zu finden sind, die eine höhere Wasserspeicherkapazität haben, während auf Südhängen die Bodenbildung weniger ausgeprägt ist und eine stärkere Erosion stattfindet (Geroy et al. 2011; Singh 2018). Durch diese mikroklimatischen und edaphischen Unterschiede und die damit verbundene Wasserverfügbarkeit beeinflusst die Exposition das Wachstum, die räumliche Verteilung und Artzusammensetzung der Vegetation (Singh 2018). Somit kann die expositionsabhängige Mortalität von *E. nigrum* und *C. vulgaris* mit großer Wahrscheinlichkeit auf Trockenschäden zurückgeführt werden, ausgelöst durch lang anhaltende sommerliche Trockenphasen, wie sie zuletzt in mehreren Jahren seit 2018 auftraten (Marx 2023). Dabei scheint *E. nigrum* stärker betroffen zu sein als *C. vulgaris*, wie die höhere mittlere Mortalitätsrate auf

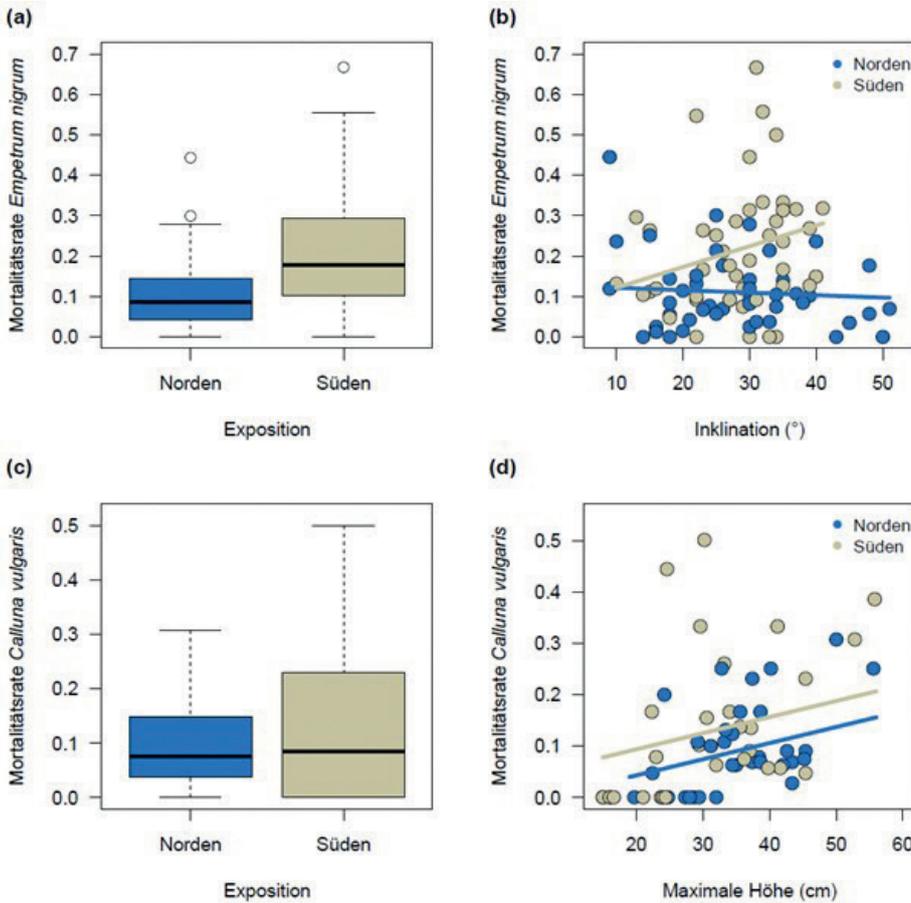


Abbildung 1: Einfluss der Prädiktoren a) Exposition und b) Interaktion der Exposition und Inklination (°) auf die Mortalitätsrate von *E. nigrum* sowie c) Exposition und d) max. Höhe (cm) von *Calluna vulgaris* auf die Mortalitätsrate von *Calluna vulgaris*.
 Grafik: Eigene Darstellung

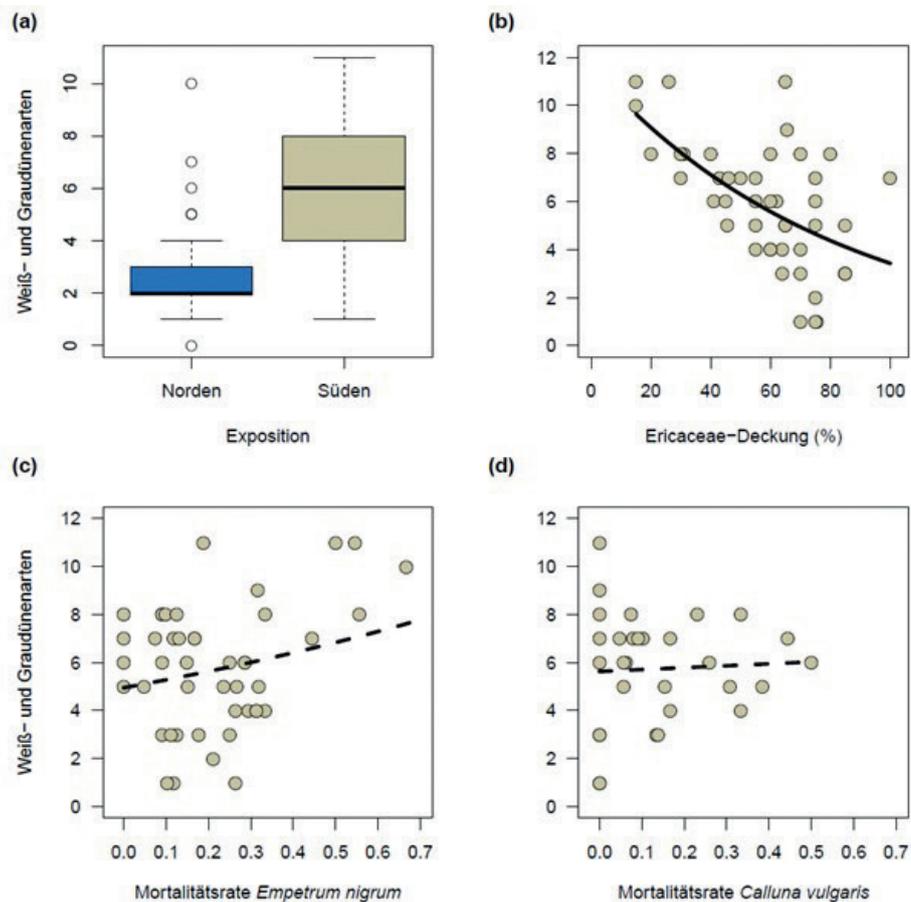


Abbildung 2: Veränderung der Artenzahl von Weiß- und Graudünenpflanzen auf 25 qm großen Flächen in Abhängigkeit von a) der Exposition, b) der Deckung lebender *Empetrum nigrum* und *Calluna vulgaris* Zwergsträucher, c) der Mortalitätsrate von *Empetrum nigrum* und d) *Calluna vulgaris* auf Südhängen. Die durchgezogene Regressionsgerade in b) kennzeichnet einen signifikanten Effekt, während die gestrichelten Linien in c) und d) nicht-signifikante Zusammenhänge kennzeichnen.
 Grafik: Eigene Darstellung



Südhängen zeigt (Mittelwert *E. nigrum*: 0,21; Mittelwert *C. vulgaris*: 0,14). Dies ist in Übereinstimmung mit bisherigen Studien, die eine geringere Trockenheitsresistenz von *E. nigrum* gegenüber *C. vulgaris* auf Sylt und den Ostfriesischen Inseln feststellten (Beinker 1998; Mühl 1993).

Auch die Inklination beeinflusst durch den Einfallswinkel die Intensität der Sonneneinstrahlung in Abhängigkeit von der geografischen Breite, der Jahreszeit und Exposition (Stoutjesdijk & Barkman 2014). Die größte Sonneneinstrahlung wird in mittleren Breiten der nördlichen Hemisphäre im Sommer auf südexponierten Flächen mit einer leichten Hanglage von etwa 15-35° erreicht, während die Strahlungsintensität auf Nordhängen mit zunehmender Inklination abnimmt (Stoutjesdijk & Barkman 2014). Somit kann der positive Einfluss der Inklination bei südexponierten Hängen auf die Mortalitätsrate von *E. nigrum* durch die Folgen der höheren Sonneneinstrahlung erklärt werden.

Der signifikant positive Einfluss der max. Höhe von *C. vulgaris* auf die Mortalitätsrate kann in Zusammenhang mit dem Phasenmodell der verschiedenen Altersstadien von *C. vulgaris* gebracht werden, wie es u. a. in Gimingham (1988) beschrieben wird. Nach diesem Modell lassen sich bei *C. vulgaris* vier Altersphasen mit unterschiedlicher Höhe, Struktur und Wachstum abgrenzen, die nach 30-40 Jahren zur durch Seneszenz hervorgerufenen Mortalität führen. Die größte oberirdische Biomasse ist in der Reifephase ausgebildet, in der die Deckung bereits abzunehmen beginnt, was in der folgenden Degenerationsphase noch stärker fortschreitet (Härdtle et al. 2009). Bei einer hohen max. Höhe von *C. vulgaris* kann also davon ausgegangen werden, dass eine fortgeschrittene Altersstruktur vorliegt, die sich möglicherweise schon im Umbruch von der Reife- zur Degenerationsphase befindet und aufgrund von Seneszenz einen signifikant positiven Einfluss auf die Mortalitätsrate hat.

Einfluss der Zwergstrauch-Mortalität auf die Anzahl der Weiß- und Graudünenarten und das Pflanzenartengefüge

Wie in den Ergebnissen beschrieben, ist sowohl die Mortalität von *E. nigrum* und *C. vulgaris* als auch die Artenzahl der Weiß- und Graudünenpflanzen auf den südexponierten Untersuchungsflächen signifikant höher (Abbildung 1 a, c, 2 a). Da die expositionsabhängigen mikroklimatischen Verhältnisse nicht nur die Mortalität beeinflussen, sondern über direkte und indirekte Wirkungsweisen auch die Weiß- und Graudünenarten, kann daraus keine Kausalität abgelesen werden. Denn das wärmere, trockenere Mikroklima auf Südhängen fördert die Ausbildung anderer Pflanzengesellschaften als auf Nordhängen (Ellenberg & Leuschner 2010). Es kann davon ausgegangen werden, dass auch ohne die Mortalität von *E. nigrum* und *C. vulgaris* die Artenzahl der Weiß- und Graudünenpflanzen auf Südhängen höher wäre, weshalb die Einflussfaktoren auf das Artengefüge im Folgenden ausschließlich auf Südhängen betrachtet werden.

Der signifikant negative Effekt der lebend-Deckung von *E. nigrum* und *C. vulgaris* auf die Artenzahl der Weiß- und Graudünenpflanzen auf Südhängen zeigt deutlich, dass in Braundünen die Konkurrenz um Licht und Habitat das Artengefüge wesentlich bestimmt und Pionierarten von einer lückigeren Zwergstrauchvegetation profitieren (Abbildung 2 b); Grunewald & Schubert 2007). Weiß- und Graudünenpflanzen können Standorte mit geringer Nährstoff- und Wasserverfügbarkeit besiedeln, sind jedoch bei zu geringer Licht und Raumverfügbarkeit nicht mehr konkurrenzfähig (Grunewald & Schubert 2007). In den stabilisierten Braundünen sind die dominierenden Ericaceen starke Konkurrenten für die Weiß- und Graudünenarten, weshalb dieses Sukzessionsstadium natürlicherweise eine geringe Artenvielfalt der Gefäßpflanzen aufweist (Peyrat & Fichtner 2011).

Auch wenn bisher kein statistisch nachweisbarer Einfluss der Mortalität auf die Artenzahl der Weiß- und Graudünenpflanzen festgestellt werden kann (Abbildung 2 c, d), wäre es denkbar, dass diese in Zukunft die abiotischen und biotischen Bedingungen auf Braundünen zugunsten der Arten jüngerer Sukzessionsstadien verändert. Denn wenn es zur Mortalität der dominierenden Arten *E. nigrum* und *C. vulgaris* durch Trockenschäden oder Seneszenz kommt, sorgt dies für eine erhöhte Verfügbarkeit von Licht und extremere mikroklimatische Bedingungen als unter lebenden Zwergsträuchern (Wilmanns 1993), was den Aufwuchs von Pionierarten begünstigt. Außerdem wird neuer Raum frei, in dem eine durch die Störung initiierte sekundäre Sukzession stattfinden kann (Grime 2006). Dass von Vegetationslücken durch Trockenschäden produktionschwache und trockenresistente Graudünenarten profitieren, konnte bereits beobachtet werden (Beinker 1998; Ellenberg & Leuschner 2010).

Neben den heimischen Weiß- und Graudünenarten könnte von den mortalitätsbedingten Veränderungen der Umweltbedingungen auch das invasive Moos *Campylopus introflexus* profitieren. Denn der Neophyt ist äußerst lichtbedürftig und trockenheitstolerierend (Ellenberg & Leuschner 2010). *Campylopus introflexus* ist sehr ausbreitungsstark und bildet vorwiegend in offener, konkurrenzarmer Vegetation auf nährstoffarmen, sauren Böden geschlossene 5-7 cm dicke Moosteppiche aus (Beinker, 1998; Ellenberg & Leuschner, 2010). Die Invasion des Neophyten wird durch Störungen begünstigt, da der Konkurrenzdruck anderer Arten reduziert wird und das ausbreitungsstarke Moos diesen Raum schnell einnehmen kann (Carter, 2014; Gradstein & Sipman, 1978). Auch auf der ostfriesischen Insel Spiekeroog wurde die Ausbreitung von *Campylopus introflexus* vor allem auf Südhängen als Sekundärvegetation in Folge einer Störung durch Hangerosion festgestellt (Isermann 2011). Die ökologischen Ansprüche von *Campylopus introflexus* könnten somit seine signifikant höhere Deckung auf den mikroklimatisch warm-trockeneren und weniger dicht bewachsenen Südhängen erklären und sprechen dafür, dass das Moos von der Mortalität der Ericaceen profitieren kann.

Folgerungen für den Naturschutz

Bedingt durch den Klimawandel werden Dürreereignisse und damit auch die trockenheitsbedingte Mortalität von *E. nigrum* und *C. vulgaris* in Zukunft an Häufigkeit und Intensität zunehmen (IPCC 2022). Bereits in dieser Untersuchung waren in mehreren Flächen über 50 % der Ericaceenanteile abgestorben. Vor allem das für Trockenschäden anfälligere *E. nigrum* könnte an seiner durch Norddeutschland verlaufenden südlichen Verbreitungsgrenze stark abnehmen und laut Modellprognosen bei einem Temperaturanstieg von 2,5° C bereits 2050 im Bereich des deutschen Wattenmeers ausgestorben sein (Metzing 2011). Dies würde die Gestalt und Funktionalität der Küstenheiden stark verändern, da *E. nigrum* dort aktuell die dominierende Art ist und u. a. mit der Stabilisierung von Sand eine bedeutende Ökosystemfunktion innehat (Hein et al. 2021). Diese Stabilisierung der Dünen wurde in der Vergangenheit jedoch auch durch beabsichtigte Anpflanzungen und die Ausbreitung invasiver Arten stark erhöht, sodass es vor allem den Pionierarten jüngerer Sukzessionsstadien aktuell eher an ausreichender Dynamik fehlt (Osswald et al. 2019). Die vorgefundene Mortalität der Zwergsträucher hat bisher vermutlich aufgrund der bestehenden Raumeinnahme durch abgestorbene Biomasse keinen positiven Einfluss auf die Weiß- und Graudünenarten. Mit der Zeit könnte sich durch die fortschreitende Degeneration die Verfügbarkeit von Licht und Raum aber erhöhen, sowie durch stärkere Erosion mehr Dynamik entstehen, wodurch sich die Bedingungen für eine Vegetationsverjüngung verbessern würden. Um die tatsächlichen Auswirkungen der Mortalität von *E. nigrum* und *C. vulgaris* auf das Artengefüge zu überprüfen, sollte ein kontinuierliches Monitoring von Flächen mit abgestorbener Biomasse mit besonderem Augenmerk auf invasive Arten durchgeführt werden. Vor allem *Campylopus introflexus* könnte durch die Störung profitieren und die heimischen Weiß- und Graudünenpflanzen durch seine Dominanz noch stärker gefährden (Hasse, 2007). Die Moosteppiche tragen zur Reduktion offener Bodenstellen und einer zunehmenden Dünenstabilisierung bei, was die Habitatheterogenität zuungunsten von Pionierarten senkt (Osswald et al. 2019). Als geeignetes Management zur Reduzierung von *Campylopus introflexus* wird eine Reaktivierung der Dünen dynamik mit regelmäßigen Übersandungen empfohlen, da das invasive Moos darauf empfindlich reagiert und sich Pionierpflanzen auf weniger vitalen Moosteppichen als sekundäre Vegetation ansiedeln können (Riksen et al. 2006; Skowronek et al. 2017). Zu dieser Entwicklung könnte die Mortalität von *E. nigrum* und *C. vulgaris* einen Beitrag leisten.

Danksagung

Ich möchte mich bei den beiden Betreuern meiner Abschlussarbeit PD Dr. Andreas Fichtner und Prof. Dr. Werner Härdtle für die große Unterstützung bei der Erstellung dieser Arbeit und die vielen hilfreichen Anregungen bedanken. Bei Rainer Borcherding möchte ich mich für den Vorschlag des Themas und die weitere Begleitung des Projekts bedanken. Auch Prof. Dr. Karsten Reise möchte ich für die Bereitstellung von eindrucksvollem Fotomaterial aus den Dürrejahren und den inspirierenden Austausch über Dünen danken.

Quellenverzeichnis

- BATHIANY, S., NEY, P., BELLEFLAMME, A., ZOHBI, J. E., GOERGEN, K., & RECHID, D. (2021). 6.8 Entwicklung von Dürren in Deutschland, Europa und weltweit. In: Lozán J. L., S.-W. Breckle, H. Graßl & D. Kasang (Hrsg.) Warnsignal Klima: Boden & Landnutzung. (S. 310–318). Wissenschaftliche Auswertungen in Kooperation mit GEO. www.warnsignal-klima.de.
- BEINKER, O. (1998). Zur Vegetationskunde der Dünen im Listland der Insel Sylt. Kiel. Notiz. Pflanzenkd. Schleswig-Holstein u. Hamb., 25/26, 128–166.
- BENNIE, J., HUNTLEY, B., WILTSHIRE, A., HILL, M. O., & BAXTER, R. (2008). Slope, aspect and climate: Spatially explicit and implicit models of topographic microclimate in chalk grassland. *Ecological Modelling*, 216(1), 47–59. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.04.010>
- CARTER, B. E. (2014). Ecology and Distribution of the Introduced Moss *Campylopus Introflexus* (dicranaceae) in Western North America. *Madroño*, 61(1), 82–86.
- ELLENBERG, H., & LEUSCHNER, C. (2010). *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen* (6. Aufl.). Ulmer.
- FAN, B., TAO, W., QIN, G., HOPKINS, I., ZHANG, Y., WANG, Q., LIN, H., & GUO, L. (2020). Soil micro-climate variation in relation to slope aspect, position, and curvature in a forested catchment. *Agricultural and Forest Meteorology*, 290, 107999. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.107999>
- GERLACH, A., ALBERS, E. A., & BROEDLIN, W. (1994). Development of the nitrogen cycle in the soils of a coastal dune succession. *Acta Botanica Neerlandica*, 43(2), 189–203. <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.1994.tb00744.x>
- GEROY, I. J., GRIBB, M. M., MARSHALL, H. P., CHANDLER, D. G., BENNER, S. G., & McNAMARA, J. P. (2011). Aspect influences on soil water retention and storage. *Hydrological Processes*, 25(25), 3836–3842. <https://doi.org/10.1002/hyp.8281>
- GIMINGHAM, C. H. (1988). A reappraisal of cyclical processes in *Calluna* heath. *Vegetatio*, 77, 61–64.



- GRADSTEIN, S. R., & SIPMAN, H. J. M. (1978). Taxonomy and World Distribution of *Campylopus introflexus* and *C. pilifer* (= *C. polytrichoides*): A New Synthesis. *The Bryologist*, 81(1), 114. <https://doi.org/10.2307/3242275>
- GRIME, J. P. (2006). *Plant Strategies, Vegetation Processes, and Ecosystem Properties*. John Wiley & Sons.
- GRUNEWALD, R., & SCHUBERT, H. (2007). The definition of a new plant diversity index "H dune" for assessing human damage on coastal dunes—Derived from the Shannon index of entropy *H*. *Ecological Indicators*, 7(1), 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.ecoind.2005.09.003>
- HÄRDLE, W., ASSMANN, T., VAN DIGGELEN, R., & VON OHEIMB, G. (2009). Renaturierung und Management von Heiden. In S. Zerbe & G. Wiegand (Hrsg.), *Renaturierung von Ökosystemen in Mitteleuropa* (S. 317–347). Spektrum Akademischer Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-8274-2161-6_12
- HASSE, T. (2007). *Campylopus introflexus* invasion in a dune grassland: Succession, disturbance and relevance of existing plant invader concepts. *Herzogia*, 20, 305–315.
- HEIN, N., MERKELBACH, J., ZECH, K., & WEIJERS, S. (2021). Drought sensitivity of *Empetrum nigrum* shrub growth at the species' southern lowland distribution range margin. *Plant Ecology*, 222(3), 305–321. <https://doi.org/10.1007/s11258-020-01107-z>
- ISERMANN, M. (2011). Patterns in Species Diversity during Succession of Coastal Dunes. *Journal of Coastal Research*, 27(4), 661–671. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-09-00040.1>
- IPCC (2022). *Climate Change and Land: IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems* (1. Aufl.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157988>
- KOCH, L. (2018, August 4). Trockenheit macht Dünenheide zu schaffen. *Sylt NaturReporter*. <https://www.natuerlich-sylt.com/trockenheit-macht-duenenheide-zu-schaffen/>
- LI, L., ZHANG, Y.-J., NOVAK, A., YANG, Y., & WANG, J. (2021). Role of Biochar in Improving Sandy Soil Water Retention and Resilience to Drought. *Water*, 13(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/w13040407>
- MARX, A. (2023). Dürren 1952—2023 (jährlich)—Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung UFZ. <https://www.ufz.de/index.php?de=47252>
- METZING, D. (2011). Global warming changes the terrestrial flora of the Wadden Sea. *Wadden Sea Ecosystem*, 26, 211–215.
- MÜHL, M. (1993). Zur Synsystematik der Krähenbeerheiden auf den Ostfriesischen Inseln. *Drosera*, 93(1/2), 11–32.
- OSSWALD, F., DOLCH, T., & REISE, K. (2019). Remobilizing stabilized island dunes for keeping up with sea level rise? *Journal of Coastal Conservation*, 23(3), 675–687. <https://doi.org/10.1007/s11852-019-00697-9>
- PEYRAT, J., & FICHTNER, A. (2011). Plant species diversity in dry coastal dunes of the southern Baltic coast. *Community Ecology*, 12(2), 220–226. <https://doi.org/10.1556/ComEc.12.2011.2.10>
- RESSEL, R. I. (2024). Untersuchungen zur Vegetation und Mortalität von *E. nigrum* (L.) und *C. vulgaris* (L.) Hull in Küstenheiden auf Sylt [Unveröffentlichte Bachelorarbeit]. Leuphana Universität Lüneburg.
- RIKSEN, M., KETNER-OOSTRA, R., VAN TURNHOUT, C., NIJSSEN, M., GOOSENS, D., JUNGERIUS, P. D., & SPAAN, W. (2006). Will We Lose the Last Active Inland Drift Sands of Western Europe? The Origin and Development of the Inland Drift-sand Ecotype in the Netherlands. *Landscape Ecology*, 21(3), 431–447. <https://doi.org/10.1007/s10980-005-2895-6>
- SALA, O. E., STUART CHAPIN, F., III, ARMESTO, J. J., BERLOW, E., BLOOMFIELD, J., DIRZO, R., HUBER-SANWALD, E., HUENNEKE, L. F., JACKSON, R. B., KINZIG, A., LEEMANS, R., LODGE, D. M., MOONEY, H. A., OESTERHELD, M., POFF, N. L., SYKES, M. T., WALKER, B. H., WALKER, M., & WALL, D. H. (2000). Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100. *Science*, 287(5459), 1770–1774. <https://doi.org/10.1126/science.287.5459.1770>
- SCELLENBERG, J. (2022). Vitality of heather (*Calluna vulgaris*) along gradients of climate, structure and diversity in dry lowland heathland habitats of Northern Germany [Doctor rerum naturalium, Georg-August-University Göttingen]. <https://doi.org/10.53846/goediss-9285>
- SINGH, S. (2018). Understanding the role of slope aspect in shaping the vegetation attributes and soil properties in Montane ecosystems. *Tropical Ecology*, 59(3), 417–430.
- SKOWRONEK, S., EWALD, M., ISERMANN, M., VAN DE KERCHOVE, R., LENOIR, J., AERTS, R., WARRIE, J., HATTAB, T., HONNAY, O., SCHMIDTLEIN, S., ROCCHINI, D., SOMERS, B., & FEILHAUER, H. (2017). Mapping an invasive bryophyte species using hyperspectral remote sensing data. *Biological Invasions*, 19(1), 239–254. <https://doi.org/10.1007/s10530-016-1276-1>
- STOUTJESDIJK, P., & BARKMAN, J. J. (2014). *Microclimate, Vegetation and Fauna*. KNNV Publishing.
- UBA. (2006). Anpassung an Klimaänderungen in Deutschland Regionale Szenarien und nationale Aufgaben. Hintergrundpapier „Anpassung an Klimaänderungen in Deutschland“. Umweltbundesamt (Hrsg.).
- WILMANN, O. (1993). Ericaceen-Zwergsträucher als Schlüsselarten. *Ber. d. Reinh.-Tüxen-Ges.*, 5, 91–112.

Kontakt

Ramona Isabel Ressel, B.Sc.
Leuphana Universität Lüneburg
ressel.ramona@web.de

